Macro-commande POST_GP

1 But

L'objet de cette macro-commande est de calculer le critère énergétique G_p à l'issue d'un calcul thermo-mécanique dans les deux situations suivantes :

- identifier les valeurs critiques du paramètre G_p en fonction de ténacités critiques données à une température fixée,
- prédire les instants de rupture sur un transitoire thermomécanique à partir de valeurs critiques de G_p précédemment identifiés pour chaque température.

Les différentes étapes accomplies par `POST_GP` sont :

- création des champs theta avec `CALC_THETA`,
- calcul de G avec `CALC_G`,
- calcul de l'énergie élastique avec `POST_ELEM`,
- calcul de $G_p = f(G, E_{tot})$.

La macro-commande peut retourner trois tables :

- la première (celle à gauche du signe =) contenant les évolutions de K_i , G_i , K_{moy} , G_{moy} , $G_{p_{max}}$ en fonction du temps,
- la deuxième (au mot-clé `TABL_GPMAX`) contenant les résultats de l'identification ou de la prédiction,
- La troisième (au mot-clé `TABL_GP`) contenant les valeurs de G_p calculés aux instants précisés.

La macro-commande fonctionne en 2D ou en 3D. En 2D, on utilise le mot-clé THETA_2D ; en 3D, THETA_3D.

2 Syntaxe

```
tab[table]   = POST_GP(
    ♦ RESULTAT      =  resumeca,                          [resultat]
    ◊ RESU_THER     =  resuther,                          [evol_ther]
    ♦ MODELE        =  modele,                            [modele]
    ♦ MATER         =  mater,                             [materiau]

    ♦ COMP_ELAS     =  _F(
       ◊ RELATION      =  /  'ELAS',                      [DEFAUT]
                          /  'ELAS_VMIS_LINE',
                          /  'ELAS_VMIS_TRAC',
       ◊ DEFORMATION   =  /  'PETIT',                     [DEFAUT]
                          /  'GREEN',
      ),

    ◊ TYPE_DEF      =  /  'PETIT',                        [DEFAUT]
                       /  'GRAND',

    ◊ EXCIT         =  _F(
       ♦ CHARGE        =  charg,                      /   [char_meca]
                                                      /   [char_cine_meca]
       ◊ FONC_MULT     =  fonct,                      /   [fonction]
                                                      /   [formule]
                                                      /   [nappe]
       ◊ TYPE_CHARGE   =  'FIXE',
      ),

    ◊ SYME_CHAR     =  /  'SANS',                         [DEFAUT]
                       /  'SYME',
                       /  'ANTI',

    ♦  / THETA_2D      =  _F(
          ♦ GROUP_NO      =  fond_entaille,               [l_group_no]
          ♦ R_INF         =  r_inf,                       [R]
          ♦ R_SUP         =  r_sup,                       [R]
         ),
       / THETA_3D      =  _F(
          ♦ GROUP_MA      =  fond_entaille,               [l_group_ma]
          ♦ R_INF         =  r_inf,                       [R]
          ♦ R_SUP         =  r_sup,                       [R]
         ),
    ♦ FOND_FISS     =  fond_entaille,                     [fond_fiss]
    ♦ TRANCHE       = _F(
            ♦  GROUP_MA     =  copeaux,),                 [l_group_ma]

    ◊ DIRECTION =  dir,                                   [l_R]
    ◊ CRIT_MAXI_GP =  /  'ABSOLU',                        [DEFAUT]
                      /  'RELATIF',

    ◊ RAYON_AXIS    =  /  R,                              [R]
                       /  1.                              [DEFAUT]

    ◊ TRAC_COMP     =  'OUI',                             [DEFAUT]

#  Méthode de discrétisation de thêta en fond de fissure (3D local)

◊  LISSAGE = _F(   ◊  /  LISSAGE_THETA =  /  'LEGENDRE'      [DEFAUT]
                                         /  'LAGRANGE'
```

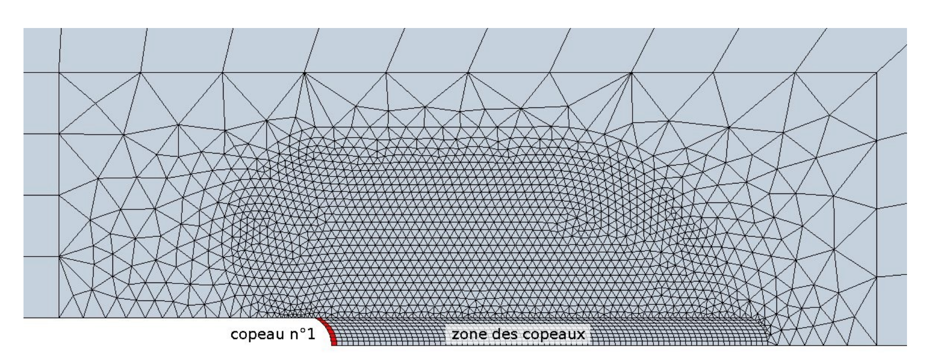
```
                                          /   'LAGRANGE_REGU'
                    /  LISSAGE_G =        /   'LEGENDRE'          [DEFAUT]
                                          /   'LAGRANGE'
                                          /   'LAGRANGE_NO_NO'
                                          /   'LAGRANGE_REGU'
                 ◊  DEGRE  =  /  0,
                              /  1,
                              /  2,
                              /  3,
                              /  4,
                              /  5,                                [DEFAUT]
                              /  6,
                              /  7,
                 ),
      ♦ /  IDENTIFICATION   =  _F(
           ♦ KJ_CRIT   =   kj_crit,                              [R]
           ♦ TEMP      =   temp,                                 [l_R]
         ),
        /  PREDICTION       =  _F(
           ♦ GP_CRIT   =   gp_crit,                              [R]
           ♦ TEMP      =   temp,                                 [l_R]
         ),

      ♦ TABL_GPMAX      =   CO('tablresu'),                      [CO]
      ◊ TABL_GP         =   CO('tabgp'),                         [CO]
      ♦ LIST_INST       =   linst,                               [l_R]

      ◊ INFO        =  /  1,                                     [DEFAUT]
                       /  2,
   )
```

3 Calcul du paramètre Gp

Le calcul du paramètre G_p nécessite un maillage bien particulier. La zone située en aval de l'entaille (ou zone de propagation virtuelle de l'entaille) doit être maillée en « copeaux ». Chaque copeau doit être identifié par un groupe de mailles et décrit dans la liste des copeaux en progressant à partir du premier copeau n°1 situé en fond d'entaille jusqu'au dernier copeau.



En 3D, on introduit la notion de tranche, chaque tranche contenant plusieurs copeaux.

Tranche n°1
Tranche n°2

On range les copeaux dans une liste de groupes de mailles de la façon suivante :

- En 2D :
  - le 1er groupe correspond au copeau le plus proche du fond d'entaille ;
  - le 2ème groupe correspond au 1er copeau et au copeau adjacent ;
  - le i-ème groupe correspond aux i copeaux les plus proches du fond d'entaille.

- En 3D :
  - on définit les copeaux de la 1ère tranche de la même manière qu'en 2D, à la différence que les mailles sont volumiques et sont hexaédriques;
  - on poursuit la liste en ajoutant les copeaux de la 2ème tranche de la même manière.
  - on obtient au final une liste de $nb_{copeaux} \times nb_{tranches}$ groupes de mailles.

G_p est calculé à partir de l'énergie élastique sur la zone des copeaux située entre le copeau n°1 et le copeau n°i, et ceci pour i variant de 1 à N, N étant le numéro du dernier copeau (cf. [U2.05.01]).

$$G_P = \text{fact_syme} \times \frac{E_{totale}}{\Delta m_i \cdot R}$$

où Δm_i est la mesure du copeau au fond d'entaille :

- en 2D la mesure calculée est la distance du copeau au fond d'entaille
- en 3D la mesure calculée est la surface du copeau au fond d'entaille,

R est la valeur fournie sous RAYON_AXIS en 2D.
fact_syme vaut 2 en cas de symétrie, 1 sinon.

En 3D, on calcule $G_{p_{max}}$ sur chaque tranche, puis on détermine quelle tranche maximise $G_{p_{max}}$.

La table tab produite par POST_GP contient l'évolution des K_j, G_j ($j=1$ au nombre de couronnes du champ theta), K_{moy}, G_{moy} et $G_{p_{max}}$ en fonction du temps.

En 3D, G est calculé aux nœuds du fond de fissure alors que $G_{p_{max}}$ est calculé par tranche. Pour obtenir une table résultat contenant l'ensemble des grandeurs, on utilise la convention suivante : pour chaque élément, on transfère $G_{p_{max}}$ au 1er nœud sommet de l'élément et au nœud milieu (dans le cas d'un maillage quadratique) sauf pour la dernière tranche où on transfère également au dernier nœud sommet.
On ajoute une colonne NUME_TRANCHE pour indiquer sur quelle tranche a été calculé le Gpmax.

Les résultats de l'identification ou de la prédiction sont fournis via le mot-clé TABL_GPMAX.

4 Opérandes

POST_GP est une macro-commande et donc appelle en interne d'autres commandes de *Code_Aster*. La plupart des mots-clés sont transmis tels quels aux autres commandes. On indiquera par la suite dans quelle(s) commande(s) sont utilisés les mots-clés.

4.1 Opérande RESULTAT

Désigne le résultat du calcul thermo-mécanique pour lequel on calcule le paramètre G_p.
Utilisé par CALC_G et POST_ELEM.

4.2 Opérande RESU_THER

Désigne le résultat du calcul thermique le cas échéant. Il est utilisé pour extraire la température en fond d'entaille.
En l'absence de ce mot-clé, on utilise la température fournie au mot-clé TEMP de IDENTIFICATION ou PREDICTION.
En IDENTIFICATION on boucle sur les différentes températures fournies derrière TEMP et pour chacun des K_{jc} associé on en déduit un G_p critique.
En PREDICTION la liste (GP_CRIT, TEMP) et la température en fond d'entaille issue de RESU_THER permettent de déterminer le bon instant critique.
Remarque : le lien entre RESU_THER et RESU_MECA se fait sur NUME_ORDRE et pas sur INST.

4.3 Opérande MODELE

Désigne le modèle utilisé lors du calcul mécanique.
Utilisé par CALC_THETA et par POST_ELEM.

4.4 Opérande EXCIT

Désigne le chargement utilisé lors du calcul mécanique.
Utilisé par CALC_G et la liste des charges est fournie à POST_ELEM.

4.5 Opérande COMP_ELAS

Désigne la relation de comportement utilisée lors du calcul mécanique.
Utilisé par CALC_G.

4.6 Opérande TYPE_DEF

```
◊ TYPE_DEF     =  /  'PETIT',      [DEFAUT]
                  /  'GRAND',
```

Indique si l'utilisateur est en petites déformations ou en grandes déformations. Dans le cas de petites déformations, le code ne prend pas en compte les changement de géométrie et la surface du copeau dans le plan de symétrie n'évolue pas. Par contre, dans la seconde option, les surfaces sont recalculées à chaque instant en tenant compte de la déformation des éléments.

4.7 Opérande SYME_CHAR

```
◊ SYME_CHAR    =  /  'SANS',       [DEFAUT]
                  /  'SYME',
                  /  'ANTI',
```

Indique si le chargement est symétrique ou antisymétrique dans le cas où on ne modélise que la moitié du solide par rapport à la fissure. Dans ce cas, un facteur multiplicatif de 2 apparaît dans le calcul de G_p .
Utilisé également par CALC_G.

4.8 Opérandes THETA_2D, THETA_3D, FOND_FISS et DIRECTION

On utilise THETA_2D ou THETA_3D suivant qu'on travaille en 2D ou en 3D.

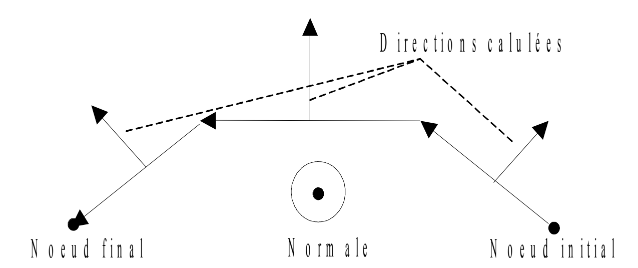
♦ THETA_2D = _F(♦ GROUP_NO = fond_entaille, ...),

♦ THETA_3D = _F(♦ GROUP_MA = fond_entaille, ...),

En 2D, les mots-clés DIRECTION, THETA_2D et FOND_FISS sont utilisés par CALC_THETA pour créer le champ theta. Le groupe fond_entaille désigne le nœud du fond d'entaille (dont on récupèrera l'évolution de température).

En 3D :
La définition du fond d'entaille dans DEFI_FOND_FISS est indispensable. Le groupe de mailles définissant le fond d'entaille doit appartenir à un plan et être orienté. Celui-ci doit être défini à l'aide de la commande NORMALE de DEFI_FOND_FISS. Dans POST_GP:

- on utilise l'opérande THETA_3D ;
- la direction de propagation de l'entaille est calculée par la commande CALC_G comme le produit vectoriel de l'orientation donnée au front d'entaille et de la normale définie par le mot-clé NORMALE , telle que présenté sur la figure ci-dessous. Attention donc à la bonne orientation du fond d'entaille et de la normale, sous peine de résultats faux.



4.9 Opérande TRANCHE

Ce mot-clé définit les groupes de maille composant les copeaux.
Exemple :
En 2D

```
TRANCHE = (
    GROUP_MA = ('COPS_1', 'COPS_2', 'COPS_3', 'COPS_4', 'COPS_5', ...))
```

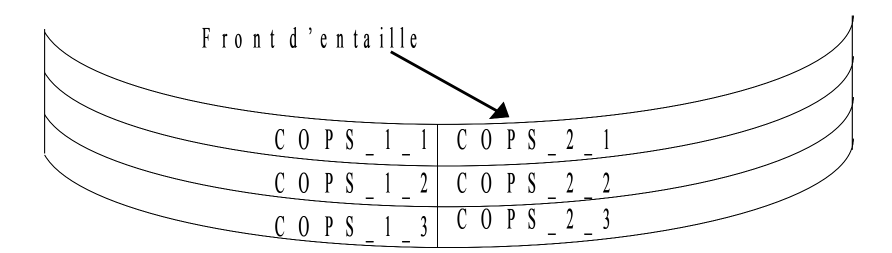
```
En 3D
    TRANCHE = (
        GROUP_MA = ('COPS_1_1', 'COPS_1_2', )
        GROUP_MA = ('COPS_2_1', 'COPS_2_2', )
        , ...))
```

L'ordre des copeaux est important : le premier ensemble de groupes de mailles constituera la première tranche et ainsi de suite. A fortiori, il y aura donc autant de groupes de mailles GROUP_MA que de tranches. Sous le mot-clé GROUP_MA, les groupes de mailles sont définis dans l'ordre de

proximité du fond d'entaille. Ainsi, le premier groupe de mailles défini dans GROUP_MA sera le groupe de mailles le plus proche du fond d'entaille.

Exemple, dans le cas de 2 tranches, avec Ti_Cj correspondant à la tranche i et au j-ième copeau (tel que défini au § 3, et cf. figure ci-après) :

```
TRANCHE = _F(
    GROUP_MA = ('COPS_1_1', 'COPS_1_2', ..., 'COPS_1_n', )
    GROUP_MA = ('COPS_2_1', 'COPS_2_2', ..., 'COPS_2_n'))
```



4.10 Opérande CRIT_MAXI_GP

```
◊ CRIT_MAXI_GP =  /  'ABSOLU'      [DEFAUT]
                  /  'RELATIF'
```

Désigne le critère utilisé pour extraire la valeur maximale de G_p :

- ABSOLU : G_p = valeur maximale de long de l'entaille
- RELATIF : G_p = dernier pic atteint le long de l'entaille

4.11 Opérande RAYON_AXIS

```
◊ RAYON_AXIS = R
```

Désigne la valeur du rayon utilisé dans la formule d'Irwin (en déformations planes) :

$$K_J=\sqrt{\frac{G\cdot E}{R\cdot\left(1-\nu^2\right)}}$$

4.12 Opérande TABL_GPMAX

```
◊ TABL_GPMAX = CO('tablresu'),
```

tablresu est le nom dans le fichier de commandes de la table des résultats de l'identification ou de la prédiction.
Le contenu de la table est détaillé ci-après en fonction du type d'analyse.

4.13 Opérande TABL_GP

```
◊ TABL_GP = CO('tabgp'),
```

tabgp contient l'évolution de G_p en fonction du temps pour chaque copeau.

4.14 Opérandes LIST_INST et INST

```
♦ LIST_INST = linst,
```

Cet opérande permet de définir une liste d'instants auxquels les post-traitements de la commande seront effectués. Pour ce faire, la macro-commande POST_GP utilise la commande EXTR_RESU pour extraire des résultats aux instants définis. L'instant correspondant au numéro d'ordre 0 est interdit.

4.15 Mot-clé TRAC_COMP

◊ TRAC_COMP = 'OUI'

Cette option permet de prendre en compte la compression dans le calcul de l'énergie : pour chaque copeau, l'énergie dans chaque élément est signée par la trace de la contrainte (+ si traction, - si compression) et la sommation dans le copeau se fait avec les énergies signées. Si le résultat est positif, il est inchangé, s'il est négatif, il est mis à zéro.

En l'absence de cette option, on utilise POST_ELEM pour calculer l'énergie élastique de la liste des copeaux.

Le calcul est plus long lorsque cette option est activée.

4.16 Mot-clé IDENTIFICATION

♦ KJ_CRIT = kj_crit
♦ TEMP = temp

On renseigne avec ses deux mots-clés N couples (kj_crit, temp), valeur de K_J critique à la température donnée.

Pour chaque couple (kj_crit, temp) :

- on récupère le module d'Young et le coefficient de Poisson dans le matériau fourni au mot-clé MATER dont les valeurs permettent de calculer les valeurs des K_i (i étant l'indice de la couronne du champ theta) à partir des G_i
- on calcule les moyennes K_{moy} , G_{moy} .
- détermination de G_p critique :
  - en 2D : on cherche à quel instant K_{moy} a atteint la valeur kj_crit, ce qui permet de trouver la valeur G_p critique = $G_{p_{max}}$ à cet instant.
- en 3D : on cherche à quel instant et à quel nœud sommet K_{moy} a atteint la valeur kj_crit, ce qui permet de trouver la valeur G_p critique = $G_{p_{max}}$ à cet instant,

La table des résultats est composée de ces colonnes :
KJ_CRIT, INST, GPMAX, KGPMAX, DELTALMAX

Auxquelles s'ajoute la colonne NUME_TRANCHE en 3D :
KJ_CRIT, INST, GPMAX, KGPMAX, DELTALMAX, NUME_TRANCHE

En 3D, le résultat DELTALMAX est une distance associée au copeau. Il s'agit de la moyenne arithmétique des distances des noeuds situés à la frontière interne du copeau au fond d'entaille. Autrement dit, pour le copeau n , la valeur DELTALMAX est la distance des noeuds communs entre le copeau n et le copeau $n-1$ au fond d'entaille. Pour le premier copeau, la valeur DELTALMAX est nulle.
L'instant est obtenu par interpolation si celui-ci ne correspond pas à un instant de la liste définie dans LIST_INST avec une précision relative de 0.01%. Une alarme est alors émise afin que l'utilisateur puisse juger de la pertinence de l'interpolation (le calcul est non-linéaire).

4.17 Mot-clé PREDICTION

♦ GP_CRIT = gp_crit
♦ TEMP = temp

On renseigne avec ses deux mots-clés N couples (gp_crit, temp), variation de G_p critique en fonction de la température.

En 2D : pour chaque instant du transitoire, on peut ainsi évaluer G_p critique à la température du fond d'entaille et le comparer au $G_{p_{max}}$ obtenu.

En 3D : pour chaque instant du transitoire et pour chaque tranche du front d'entaille, on peut évaluer G_p critique à la température du fond d'entaille et le comparer au $G_{p_{max}}$ obtenu.

La table des résultats est composée de ces colonnes :
NUME_ORDRE, INST, TEMP, DELTALMAX, GPMAX, GP_CRIT, PREDICTION

Auxquelles s'ajoute la colonne NUME_TRANCHE en 3D :
NUME_ORDRE, INST, TEMP, DELTALMAX, GPMAX, GP_CRIT, NUME_TRANCHE , PREDICTION

La colonne PREDICTION vaut 0 tant que $G_{p_{max}}$ est inférieur au G_p critique, 1 quand $G_{p_{max}}$ atteint ou dépasse G_p critique.

En 3D, le résultat DELTALMAX est une distance associée au copeau. Il s'agit de la moyenne arithmétique des distances des noeuds situés à la frontière interne du copeau au fond d'entaille. Autrement dit, pour le copeau n, la valeur DELTALMAX est la distance des noeuds communs entre le copeau n et le copeau $n-1$ au fond d'entaille. Pour le premier copeau, la valeur DELTALMAX est nulle.

5 Exemple d'utilisation

On trouvera des exemples et conseils d'utilisation dans le document [U2.05.08] dans le test 2D ssnp131 [V6.03.131] et dans le test 3D ssnv207 [V6.04.207]